

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Любомира Володимировича ДЖАНОВА

«Раціональні сталеві балки змінного перерізу»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 19 – Архітектура та будівництво
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Послідовний глибокий аналіз дисертації **Джанова Любомира Володимировича «Раціональні сталеві балки змінного перерізу»** та наукових статей опублікованих у спеціалізованих журналах дає підставу сформулювати основні висновки щодо основних наукових положень, наукової новизни та достовірності висновків, актуальності, ступеня обґрунтованості результатів роботи, а також практичного значення, та надати загальну оцінку дослідження

Актуальність обраної теми дисертації.

Дисертаційна робота присвячена актуальній задачі розроблення раціональних конструктивних рішень сталевих балкових елементів змінного перерізу, що є важливим для сучасного будівництва з урахуванням ресурсозбереження та економічної ефективності. Особлива увага приділяється оптимальному використанню сталі у проєктних рішеннях, що забезпечує зменшення матеріальних витрат на всіх етапах життєвого циклу конструкцій.

Незважаючи на розвиток нових типів балок (з перфорованою, гофрованою або змінною висотою стінки), недостатньо узагальнених наукових досліджень, присвячених їх оптимальному проєктуванню з урахуванням змінної ширини полиць та товщини стінки. Дисертаційна робота пропонує методологічний підхід оптимального проєктування з використанням методу невизначених множників Лагранжа та методу Ейлера–Лагранжа із застосуванням необхідних умов оптимальності Каруша–Куна–Такера, на основі чого отримано нові аналітичні залежності для вибору раціональної топології сталевих двотавра зі змінним перерізом по довжині як стінки, так і полиць.

Актуальність роботи визначається необхідністю вирішення важливої науково-технічної задачі створення сталевих балкових елементів рамних систем із мінімальними витратами сталі, що відповідають нормативним вимогам міцності та жорсткості, та потребам сучасної проєктної практики у науково обґрунтованих рекомендаціях щодо вибору оптимальної топології балок змінного перерізу на початкових етапах проєктування.

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержано в дисертації.

Метою дисертації є теоретичне узагальнення та розповсюдження теоретичних підходів, щодо визначення раціональної та оптимальної топології (оптимальної висоти перерізу, раціонального співвідношення площі полиць і стінки та вибір раціонального градієнта змінності стінки і полиці) сталевих балок симетричного перерізу зі змінною висотою стінки і ширини полиць за критерієм мінімізації витрат сталі для рамно-балкових каркасів будівель та споруд.

Сформульовані та вирішені *завдання* дослідження:

- виконати огляд основних конструктивних рішень сталевих двотаврів зі змінною висотою стінки, та огляд методів вибору оптимальної висоти сталевих двотаврів;
- узагальнити теоретичні дослідження визначення закономірності вибору оптимальної висоти сталевих балок зі зварних двотаврів із змінною висотою стінки і ширини полки на основі методу невизначених множників Лагранжа за критерієм мінімальних витрат сталі та обмежень умов міцності;
- провести числові дослідження та визначити раціональний градієнт (ступінь змінності перерізу зварних двотаврів) по довжині елемента конструкції: співвідношення моментів інерції найменшого і найбільшого перерізів;
- провести теоретичні дослідження з визначення закономірності вибору оптимальної висоти сталевих балок зі зварних двотаврів із змінною висотою стінки і ширини полки на основі методу Ейлера-Лагранжа за обмеженнями другого граничного стану - умови обмеження прогинів конструкції.
- провести верифікацію отриманих результатів при виконанні розрахунку моделей проектування балкових двотаврових елементів сталевих рам змінного перерізу з урахуванням дії повздовжньої сили при відносному ексцентриситеті $m_x > 15..20$.

Ступінь обґрунтованості наукових положень

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджується точністю та достовірністю вихідних даних; узгодженістю аналітичних рішень з результатами числових експериментів і даними, отриманими іншими авторами.

Враховуючи всі вищенаведені аргументи можна зробити позитивний висновок щодо наукової обґрунтованості і достовірності отриманих основних положень дисертаційного дослідження, а також їх відповідності заявленим меті та завданням.

Науковою новизною одержаних результатів слід вважати наступне:

Уперше:

1. Отримано аналітичні залежності вибору раціональної конструктивної форми зварних сталевих двотаврових балок з одночасною змінною висотою стінки та шириною полиць за критерієм мінімальних витрат сталі з урахуванням вимог першого і другого граничних станів.
2. Встановлено закономірності впливу обмежень за прогинами на оптимальну форму балки змінного перерізу, які зумовлюють зміщення небезпечних перерізів відносно перерізу з максимальним згинальним моментом.
3. Визначено граничні значення градієнтів змінності перерізу, за яких забезпечується виконання умов міцності для всіх перерізів балки при різних схемах навантаження.

Удосконалено:

1. Методологію оптимального проектування сталевих балок змінного перерізу на основі методу множників Лагранжа, рівнянь Ейлера–Лагранжа та умов Каруша–Куна–Такера з урахуванням змінності геометричних параметрів по довжині елемента.
2. Підходи до визначення оптимальної висоти перерізу зварних двотаврових балок при спільній дії згинального моменту та повздовжньої сили.

Отримали подальший розвиток:

1. Теорія раціонального розподілу матеріалу в балкових елементах рамних сталевих конструкцій з урахуванням сучасних технологічних можливостей їх виготовлення.
2. Методи числового аналізу напружено-деформованого стану сталевих балок змінного перерізу при складних схемах навантаження.

Практичне значення отриманих результатів становить у створенні науково обґрунтованих підходів:

- використання результатів при проектуванні сталевих рамних конструкцій будівель і споруд значних прольотів.

Результати дослідження апробовано та впроваджено при:

- проектуванні навісів над трибунами стадіонів із використанням балкових елементів змінного перерізу;
- розробленні конструктивних рішень універсальних сталевих рамних каркасів складських будівель;
- виконанні дипломних проєктів (розділ «Конструкції будівельні») на кафедрі металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях. Основні положення дисертації апробовано на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, у тому числі статті у фахових виданнях України категорій «А» і «Б», а також в матеріалах конференцій.

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії». Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації. Вважаю, що дисертація пройшла належну апробацію.

Дотримання академічної доброчесності.

Аналіз дисертаційної роботи та публікацій автора не виявив порушень академічної доброчесності, елементів фальсифікації чи фабрикації тексту.

Оцінка змісту, стилю та оформлення дисертації, її завершеності,

Дисертація є завершеною науковою працею, має класичну структуру та характеризується цілісністю змісту. Структура та оформлення відповідають установленим вимогам .

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків до роботи, списку використаних джерел (160 найменувань), додатків про впровадження результатів дисертаційної роботи. Дисертація викладена на 191 сторінках, у тому числі 151 сторінка основного тексту, 4 повних сторінки з таблицями (6 таблиць), 15 сторінок з рисунками (29 рисунків), 20 сторінок списку літератури та 3 сторінки додатків.

У **вступі** наведена загальна характеристика дисертаційної роботи, автором обґрунтовано актуальність задачі; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень; особистий внесок здобувача, наведено зв'язок з науковими програмами та особливості внеску здобувача; описано новизну, практичне значення результатів, наведені дані про структуру дисертації, а також апробацію та впровадження дисертаційного дослідження.

У **першому розділі «Ефективні конструктивні рішення сталевих балок та критерії визначення оптимальної висоти перерізів зварних двотаврів»** виконано аналіз науково-технічної літератури щодо розвитку сталевих конструкцій порталних рам із застосуванням зварних двотаврів постійного та змінного перерізу. Встановлено основні тенденції формування ефективних

конструктивних рішень — від елементів із постійним перерізом до двотаврів зі змінною висотою стінки та шириною полиць.

Показано недостатню розробленість узагальнених аналітичних методів вибору оптимальної висоти перерізу двотаврових балок змінного перерізу, що має суттєве значення для початкових етапів проєктування та техніко-економічного обґрунтування. Для прийнятої фізико-математичної моделі обґрунтовано застосування методів нелінійного математичного програмування з використанням методу невизначених множників Лагранжа. На основі літературного аналізу сформульовано мету та основні завдання дисертаційного дослідження.

За загальними висновками щодо літературного аналізу розкрито суть наукових завдань дисертації і сформульовані мета та задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі дисертаційної роботи **«Раціональні металеві балки зі змінною висотою стінки та змінною шириною полиці за критерієм мінімізації витрат сталі»** обґрунтовано доцільність виділення зварних сталевих двотаврових балок змінного перерізу як окремого класу ефективних елементів через можливість оптимального розподілу матеріалу.

Розв'язано дві задачі оптимізації із застосуванням методу нелінійного програмування з використанням множників Лагранжа з метою визначення оптимальної висоти перерізу зварного двотавра за критерієм мінімальних витрат сталі та умов міцності при дії максимального згинального моменту. *Перша* - для балки зі сталою гнучкістю стінки; *друга* - для балки зі змінними висотою, шириною полиць і товщиною стінки. Запропоновано підхід із застосуванням умов Каруша–Куна–Такера для визначення градієнта змінності геометричних характеристик перерізу.

Отримано *нові аналітичні залежності* для визначення оптимальної висоти перерізу залежно від характеру згинального моменту та ступеня змінності перерізу. Достовірність підтверджено переходом до граничного випадку балок із постійною висотою та шириною полиць, обґрунтовано вибір параметрів змінності, що запобігають максимальним напруженням у нерозрахункових перерізах при різних схемах навантаження.

У третьому розділі дисертаційної роботи **«Визначення раціональної конструкції металевих двотаврових балок зі змінною висотою стінки та змінною шириною полиць за умовами виконання вимог другого граничного стану»** аналітично розв'язано задачу визначення оптимальної висоти конічного зварного сталевого двотавра зі змінною висотою стінки та шириною полиць за

критерієм мінімальних витрат сталі з одночасним забезпеченням вимог жорсткості.

Задача нелінійного програмування вирішена з урахуванням умов оптимального розподілу матеріалу та критеріїв міцності, *отриманих у другому розділі*, в результаті *виведено аналітичну залежність* для визначення оптимальної висоти перерізу балки в зоні дії максимального згинального моменту.

Проведено числові дослідження та наведено приклади розрахунку, що дозволяють використовувати результати в наукових дослідженнях і проєктній практиці для вибору раціональної висоти двотавра залежно від обмежень за прогинами за одночасного забезпечення умов міцності та оптимізації геометричних параметрів балки вздовж її довжини.

У четвертому розділі дисертаційної роботи **«Вплив повздовжньої сили на проєктування раціональних сталевих елементів порталних рам із двотаврових балок змінного перерізу»** розглянуто оптимізацію висоти зварного сталевого двотавра з лінійною зміною висоти стінки та ширини полиць з урахуванням спільної дії згинального моменту та повздовжньої сили.

Методом нелінійного програмування з використанням невизначених множників Лагранжа отримано аналітичне рішення для визначення оптимальної висоти двотавра змінного перерізу, а застосування умов нежорсткості Каруша–Куна–Такера дозволило отримати *новий науковий результат* щодо оптимального розподілу сталі між стінкою та полицями за спільної дії згинального моменту і повздовжньої сили в межах прийнятих обмежень.

Також у розділі проведено числові дослідження з визначення раціонального градієнта змінності перерізу, встановлено його граничні значення та *обґрунтовано оптимальне співвідношення між максимальною та мінімальною висотою перерізу* двотаврової балки змінного перерізу за умови забезпечення вимог міцності по всій довжині елемента.

У **загальних висновках** сформульовано основні наукові результати дослідження відповідно до поставлених задач.

В цілому ж, в роботі можна відмітити послідовність і логічність викладення інформації. Робота є завершеною самостійною науковою працею.

Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Розділи дисертації містять достатній обсяг матеріалу, що демонструє вирішення сформульованих завдань і завершуються висновками.

Вважаю, що здобувач Любомир Володимирович Джанов оволодів необхідними для рівня доктора філософії компетентностями та методологією проведення наукових досліджень.

Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі. У процесі аналізу змісту й структури дисертації виникли такі питання змістовного характеру:

1. *Перший розділ* перевантажений загальновідомою інформацією з описом робочих гіпотез і підходів розрахунку. На мій погляд достатньо було б зробити короткий перелік з посиланнями на відомі підручники і дослідження.

2. У *другому розділі* отримано аналітичне рішення для балки зі змінною шириною полиць і висотою стінки за умови змінної товщини стінки. Водночас відсутній аналіз порівняльної ефективності такого рішення у зіставленні з балками зі сталою товщиною стінки, а також не наведено конструктивних обґрунтувань практичної реалізації змінності товщини стінки зварного сталевих двотавра по довжині елемента, що обмежує прикладну цінність отриманих результатів.

3. У *третьому розділі* дослідження обмежено розглядом балок консольного типу. Водночас у роботі відсутні результати для інших поширених конструктивних схем балок, що звужує сферу застосування отриманих результатів. Крім того, не проаналізовано вплив пружного защемлення консолі на величину переміщень її вільного кінця, хоча такий фактор може істотно впливати на результати розрахунків за другим граничним станом.

4. У *четвертому розділі* при визначенні оптимальної висоти стиснуто-зігнутого двотаврового елемента змінного перерізу з лінійною зміною ширини полиць і висоти стінки використано розрахункову модель для значних відносних ексцентриситетів. Водночас у роботі не виконано перевірку узгодженості отриманих результатів із розрахунками на стійкість відповідно до вимог чинних нормативних документів, що ускладнює оцінювання їх коректності та можливості практичного застосування.

5. Окремі положення роботи могли б бути розширені з точки зору впливу технологічних факторів виготовлення балок на оптимальні параметри перерізу.

6. В роботі спостерігається змішення термінів – «раціональні конструктивні рішення» та «оптимальні конструктивні рішення». З моєї точки зору має бути відповідність термінології в назвах розділів та підрозділів і в тексті дисертації.

7. В роботі присутні граматичні помилки та граматичні неточності.

8. Робота наукова, теоретична, хотілося б в якості розвитку побачити алгоритмізацію вирішених задач та подальше впровадження в програмні комплекси.

Проте, зазначені зауваження не зменшують загального позитивного враження від представленої дисертації, вони мають переважно дискусійний

характер. Отримані здобувачем результати не викликають сумніву, є науково обґрунтованими, мають наукову новизну і практичне значення.

Вважаю, що робота повністю відповідає вимогам до наукових робіт освітньо-кваліфікаційного рівня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Таким чином, за актуальністю, науковою новизною, достовірністю і обґрунтованістю отриманих дисертантом результатів дисертаційна робота **Джанова Любомира Володимировича «Раціональні сталеві балки змінного перерізу»** є завершеною, науково-дослідницькою роботою, яка повністю відображає основні теоретичні та практичні положення та відповідає встановленим вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, **Джанов Любомир Володимирович** заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

Професор кафедри комп'ютерних
технологій будівництва
факультету архітектури,
будівництва і дизайну
Державного некомерційного підприємства
«Державний університет
«Київський авіаційний інститут»,
доктор технічних наук, професор



Марія БАРАБАШ

